

IRENA ICKIEWICZ\*

WPLYW POJEMNOŚCI CIEPLNEJ  
NA BILANS CIEPLNY BUDYNKUINFLUENCE OF THERMAL CAPACITY  
ON BUILDING HEAT BALANCE

## Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wpływu pojemności cieplnej  $C_m$  budynku mieszkalnego na współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła w trybie ogrzewania  $\eta_{H,gn}$ , a w konsekwencji na zapotrzebowanie ciepła użytkowego do ogrzewania i wentylacji  $Q_{H.nd}$ . Podstawą analizy były wyniki wartości obliczeniowych zapotrzebowania na energię użytkową dla 7 przyjętych wariantów warstwy konstrukcyjnej ścian zewnętrznych i wewnętrznych przedmiotowego budynku. Obliczenia wykonano na podstawie aktualnie obowiązującej metodologii w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.

*Słowa kluczowe: bilans cieplny budynku, pojemność cieplna, współczynnik wykorzystania zysków ciepła*

## Abstract

The paper presents analysis of the influence of thermal capacity  $C_m$  of apartment building on the coefficient of heat gain use efficiency during heating mode  $\eta_{H,gn}$ , and as a consequence on heat demand for heating and ventilation  $Q_{H.nd}$ . The results of calculation values of energy demand for 7 accepted variants of structural layers of external and internal walls in this building were analyzed. The calculations were conducted according to the methodology which is obligatory for preparing building energetic characteristics.

*Keywords: building heat balance, thermal capacity, coefficient of heat gain use*

\* Dr inż. Irena Ickiewicz, Katedra Podstaw Budownictwa i Ochrony Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka.

## 1. Wstęp

Akumulacja ciepła poza wpływem na bilans cieplny budynku związana jest z poczuciem komfortu osób przebywających w pobliżu „zimnych” ścian oraz ze zminimalizowaniem niebezpieczeństwa skraplania się pary wodnej na powierzchni przegród zewnętrznych. Stopień akumulacji ciepła w ścianach zewnętrznych jest ściśle zależny od ich przekroju. W przegrodzie jednowarstwowej bez ocieplenia wykorzystywane jest 33% przekroju, w ścianie z ociepleniem zewnętrznym akumulacja dotyczy całego przekroju, natomiast w ścianie z ociepleniem od wewnątrz i w ścianach szkieletowych ciepło jest pochłaniane tylko przez warstwę tynku wewnętrznego. Do akumulacji ciepła w ogrzaniach ścian wykorzystywane jest ciepło z różnych źródeł, takich jak: system ogrzewania, oświetlenie, promieniowanie słoneczne oraz ludzie przebywający w pomieszczeniu [1–3].

## 2. Analiza wpływu wewnętrznej pojemności cieplnej budynku na wartość współczynnika wykorzystania zysków ciepła

**Pojemność cieplna** jest to ilość ciepła potrzebna do podniesienia temperatury  $1\text{ m}^3$  materiału o  $1^\circ\text{C}$ . Matematycznie można to przedstawić za pomocą wzoru (1):

$$C_m = \sum_j \sum_i (c_{ij} \cdot \rho_{ij} \cdot d_{ij} \cdot A_{ij}) \quad (1)$$

gdzie:

- $c_{ij}$  – ciepło właściwe materiału warstwy  $i$ -tej w elemencie  $j$ -tym ( $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ),
- $\rho_{ij}$  – gęstość materiału warstwy  $i$ -tej w elemencie  $j$ -tym, ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),
- $d_{ij}$  – grubość warstwy  $i$ -tej w elemencie  $j$ -tym (m),
- $A_{ij}$  – pole powierzchni  $j$ -tego elementu w budynku ( $\text{m}^2$ ),
- $C_m$  – wewnętrzna pojemność cieplna strefy budynku lub całego budynku ( $\text{J}/\text{K}$ ).

Im większa jest gęstość objętościowa materiału, tym więcej ciepła jest on w stanie zgromadzić, z reguły jednak wiąże się to z gorszymi parametrami termoizolacyjnymi.

**Współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,gn}$**  jest wielkością bezwymiarową. W nieaktualnej normie PN –B/02025 dotyczącej obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków współczynnik ten przyjęto jako wartość stałą wynoszącą 0,9, natomiast według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie metodologii [4] współczynnik ten należy obliczyć dla każdego analizowanego budynku. W obliczeniach wartości  $\eta_{H,gn}$  należy uwzględnić tzw. bezwładność cieplną budynku, czyli fakt, że elementy budynku w pewnych okresach czasu akumulują ciepło, a w innych to ciepło oddają. Wartość współczynnika efektywności wykorzystania zysków ciepła w poszczególnych miesiącach sezonu grzewczego określa się wg wzoru (2):

$$\eta_{H,gn} = \frac{(1 - \gamma_H^{a_H})}{(1 - \gamma_H^{a_H+1})} \quad (2)$$

przy czym:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \neq 1$$

gdzie:

- $\gamma_H$  – udział potrzeb grzewczych budynku wg wzoru (3),
- $Q_{H,gn}$  – straty przez przegrody i na podgrzanie powietrza wentylacyjnego (kWh/miesiąc),
- $Q_{H,ht}$  – zyski słoneczne i bytowe (kWh/miesiąc),
- $a_H$  – parametr numeryczny zależny od stałej czasowej wyznaczany jest dla budynku lub strefy budynku w funkcji stałej czasowej wg wzoru (4):

$$\gamma_H = \frac{Q_{h,gn}}{Q_{h,ht}} \quad (3)$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (4)$$

gdzie:

- $a_{H,0}$  – bezwymiarowy referencyjny współczynnik równy 1,
- $\tau$  – stała czasowa charakteryzująca bezwładność cieplną budynku lub jego strefy,
- $\tau_{H,0}$  – stała czasowa referencyjna wynosząca 15 h.

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr} + H_{ve}} \quad (5)$$

gdzie:

- $C_m$  – wewnętrzna pojemność cieplna budynku [J/K],
- $H_{tr}$  – współczynnik strat ciepła przez przenikanie [K/W],
- $H_{ve}$  – współczynnik strat ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego [K/W].

**Długość sezonu grzewczego** niezbędna do policzenia zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania budynku można określić (zgodnie z metodologią) na podstawie wzoru (6):

$$L_H = \sum_{m=1}^{12} f_{H,m} \quad (6)$$

Wyznaczenie względnej długości czasu ogrzewania w m-tym miesiącu:

- jeżeli  $\gamma_{H,2} < \gamma_{H,lim}$ , to cały miesiąc jest częścią sezonu ogrzewczego,  $f_{H,m} = 1$ ;
- jeżeli  $\gamma_{H,1} > \gamma_{H,lim}$ , to cały miesiąc nie jest częścią sezonu ogrzewczego,  $f_{H,m} = 0$ ;
- w przeciwnym przypadku tylko ułamek miesiąca jest częścią sezonu ogrzewczego.

**Wartość zapotrzebowania na ciepło użytkowe  $Q_{H,nd,n}$  do ogrzewania budynku** wylicza się z zależności (7), natomiast zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania w sezonie grzewczym  $Q_{H,Nd}$  z wzoru (8) po wcześniejszym policzeniu długości sezonu grzewczego  $L_S$ .

$$Q_{H,nd,n} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (7)$$

$$Q_{H,nd,n} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (8)$$

gdzie:

- $Q_{H,ht}$  – straty ciepła przez przenikanie i wentylację w (kWh/m-c) obliczone zgodnie z wzorami zamieszczonymi w metodologii (wzór 1.11-1.13 s.29) [4],  
 $Q_{H,ng}$  – zyski ciepła wewnętrzne i od słońca (kWh/m-c) obliczone zgodnie z wzorem zamieszczonym w metodologii (wzór 1.25 s.33) [4],  
 $\eta_{H,gn}$  – współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła.

## 2.1. Obliczenie współczynnika efektywności wykorzystania zysków ciepła budynku

Przedmiotem analizy jest budynek mieszkalny, jednokondygnacyjny, niepodpiwniczony z dachem dwuspadowym, zlokalizowany w IV strefie klimatycznej.

Kubatura wentylowana  $V = 554,43 \text{ m}^3$ ,

Powierzchnia ogrzewana  $A_f = 205,34 \text{ m}^2$ .

Tabela 1

Charakterystyka „materiałowa” ścian

Wariant	Materiał	Grubość ścian [cm]		Wszystkie ściany zewnętrzne ocieplone zostały 20 cm warstwą styropianu, strop nad parterem 30 cm styropianu, a podłoga na gruncie 15cm styropianu. Strop nad parterem i podłogę na gruncie, we wszystkich 7 wariantach wykonano z płyty żelbetowej grubości 15 cm.
		zewnętrznych	wewnętrznych	
1	gazobeton	24	12	
2	cegła dziurawka	25	12	
3	cegła pełna	25	12	
4	błoczek silikatowy	25	12	
5	kamień granitowy	25	12	
6	żelbet	15	12	
7	drewno	24	12	

**Charakterystyka cieplna analizowanego budynku  
(dla 7 wariantów warstwy konstrukcyjnej ściany)**

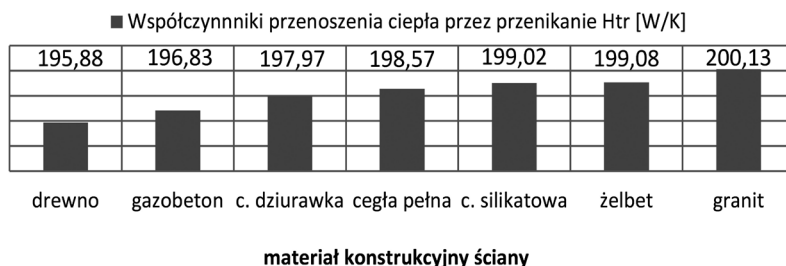
Wariant	Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie $H_{tr}$ (W/K)	Wewnętrzna pojemność cieplna budynku $C_m$ (J/K)	Stała czasowa $\tau$	Współczynnik $\eta_{H,gn}$ (wartość uśredniona)	Bilans cieplny (kWh/rok)
1	195,88	61 963 613	50,64	0,8558	25626
2	196,83	54 955 843	44,79	0,8758	25744
3	197,97	67 411 180	54,75	0,8789	25833
4	198,57	73 531 099	59,62	0,8869	25870
5	199,02	67 577 364	60,39	0,8904	25909
6	199,08	81 895 831	66,30	0,8909	25911
7	200,13	78 405 555	62,74	0,8910	26014

Na rysunku 1 przedstawiono współczynniki strat ciepła przez przenikanie  $H_{tr}$ , zmieniające się w zależności od rodzaju warstwy konstrukcyjnej ściany zewnętrznej, a na rysunku 2 zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku w zależności od pojemności cieplnej.

Na podstawie analizy wartości współczynników przenoszenia ciepła przez przenikanie  $H_{tr}$  (rys.1) można stwierdzić, że przyjęcie warstwy konstrukcyjnej ścian zewnętrznych z materiałów o zróżnicowanej wartości współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  (np. drewna o  $\lambda = 0,3$  W/(m·K) i granitu o  $\lambda = 2,5$  W/(m·K) wpływa nieznacznie na sumaryczną wartość strat ciepła całego budynku (~2,5%). Wynika to przede wszystkim z bardzo dobrej izolacji termicznej ścian.

Największą pojemnością cieplną charakteryzował się budynek, którego warstwy konstrukcyjne ścian zewnętrznych oraz ściany działowe wykonano z żelbetu, najmniejszą z gazobetonu. Różnice w pojemności cieplnej całego budynku są znaczące i wynoszą około 40 %. Pomimo tak znaczącej różnicy w pojemności cieplnej, wpływ tego czynnika na wartość sezonowego zapotrzebowania na ciepło  $Q_{H,dn}$  jest nieznaczny i wynosi tylko ~ 1,9 %.

Na rysunku 3 przedstawiono zależności współczynnika efektywności wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,Nd}$  od pojemności cieplnej  $C_m$ .

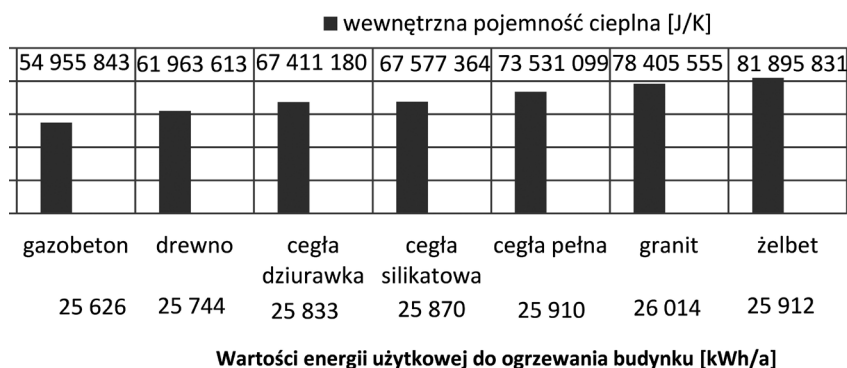


Rys. 1. Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie  $H_{tr}$  w budynku mieszkalnym w zależności od rodzaju warstwy konstrukcyjnej ścian zewnętrznych

Fig. 1. Coefficient of heat transfer through penetration  $H_{tr}$  in the apartment building depending on the type of structural layer of external walls

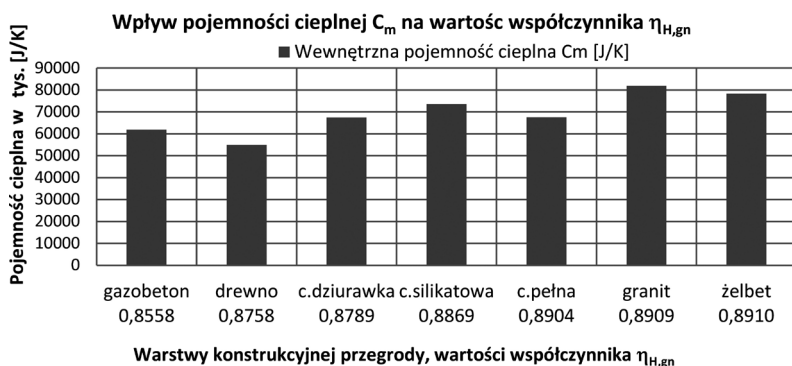
Różnica wartości współczynnika wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,gn}$  (policzona jako wartość średniej całego okresu grzewczego) między wartością najniższą a najwyższą (pomimo znaczącej różnicy pojemności ciepłej wynoszącej około 40%) jest nieznaczna i wynosi  $< 5\%$ . Wartość współczynnika  $\eta_{H,gn}$  oscyluje w granicach od 0,85 do 0,9.

Dalej zestawiono dwie skrajne wartości długości sezonu grzewczego dla budynku o najniżej i najwyższej pojemności cieplnej, w pierwszym przypadku ściany wykonano z drewna w drugim z żelbetu w obydwu przypadkach ilość izolacji termicznej na ścianach zewnętrznych była taka sama i wynosiła 20 cm styropianu. Dla tak skonstruowanych ścian różnice w długości sezonu grzewczego są minimalne i wynoszą zaledwie od kilku do kilkunastu godzin. W analizowanym przypadku różnica ta wynosi zaledwie 10 godzin. Długość sezonu grzewczego dla budynku ze ścianami z drewna wynosi  $L_n = 5383$  godzin, natomiast z żelbetu  $L_n = 5393$  godzin.



Rys. 2. Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynku mieszkalnego  $Q_{H,nd}$  w zależności od pojemności cieplnej budynku  $C_m$

Fig. 2. Heat demand for the apartment building heating  $Q_{H,nd}$  depending on building thermal capacity  $C_m$



Rys. 3. Wartość obliczeniowa współczynnika wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,nd}$  w zależności od wewnętrznej pojemności cieplnej budynku  $C_m$

Fig. 3. Calculation values of coefficient of heat gain use  $\eta_{H,nd}$  depending on building internal thermal capacity  $C_m$

### 3. Wnioski

Wartości obliczeniowe współczynników efektywności wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,gn}$ , w zależności pojemności cieplnej budynku  $C_m$ , uzyskano, wykonując obliczenia opierające się na wzorach matematycznych zamieszczonych w aktualnie obowiązującej metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008, nr.201, poz. 1239). Obliczenia wykonywane były ręcznie, nie korzystano z żadnych programów numerycznych aktualnie dostępnych.

W związku z tym, że zamieszczony w metodologii algorytm jest „bardzo uproszczony”, otrzymane wyniki należy traktować jako wartości orientacyjne, które jednak upoważniają do „dyskusji” nad metodą wykonywania charakterystyk energetycznych budynków.

Otrzymane wartości współczynników efektywności wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,gn}$  różnią się między sobą nieznacznie (maksymalnie ~ 5 %) pomimo dużej różnicy w pojemności cieplnej budynku, w analizowanym przypadku wynoszącej ~ 40 %. Należałoby jednak zauważyć, że zróżnicowana pojemność cieplna ma duże znaczenie w okresie letnim jako ochrona przez przegrzewaniem pomieszczeń, a w przypadku budynku z instalacją chłodzenia zauważalnie wpływa na zapotrzebowanie energii pierwotnej do chłodzenia pomieszczeń.

Średnia wartość współczynnika  $\eta_{H,gn}$  obliczona dla analizowanego budynku wynosi 0,85–0,9 i jest to wartość porównywalna z wartością przyjmowaną przy liczeniu bilansu cieplnego budynku metodą uproszczoną [5]. Również długości sezonu grzewczego  $L_H$  zmienia się nieznacznie w zależności od pojemności cieplnej budynku, różnica ta w skrajnych przypadkach (drewno, żelbet) wynosi poniżej 1 % (granica błędów). Wyniki te uzyskano dla budynku, którego przegrody były bardzo dobrze ocieplone styropianem (20 cm ściany i 30 cm strop nad parterem i podłoga na gruncie 15 cm).

Ze względu na dość pracochłonne i kłopotliwe obliczenia zarówno współczynnika efektywności wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,gn}$ , jak i długości sezonu grzewczego, osoby zajmujące się obliczeniem charakterystyki energetycznej budynków w większości przypadków korzystają z programów numerycznych, często uważając, że uzyskane w ten sposób wartości obliczeniowe nie są obarczone błędami. Niestety wykonując obliczenia dostępnymi na rynku programami (np. CertoH, BuildDesk Energy Certificate Professional i inne), zauważono rozbieżności w otrzymanych wynikach wynoszące 5–7%, a nieraz i większe. Przykładowo niektóre programy nie „bawią się” w liczenie długości sezonu grzewczego, przyjmując całe 9 miesięcy do obliczeń zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, zaokrąglają wyniki np. oporów cieplnych do jednego miejsca po przecinku, nie uwzględniają zacielenia w liczeniu zysków cieplnych od słońca, itp.

Biorąc powyższe pod uwagę, należy się zastanowić, czy nie trzeba wprowadzić w metodologii obliczenia charakterystyki energetycznej budynku „uproszeń” dotyczących zarówno współczynnika efektywności wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,gn}$ , jak i długości sezonu grzewczego  $L_H$ .

Współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła  $\eta_{H,gn}$  można by zróżnicować w zależności od technologii wykonania budynków oraz materiałów warstw konstrukcyjnych przegród. Dla budynków „masywnych”, w których przegrody wykonane są z cegły pełnej, żelbetu, silikatu, wartość ta oscyluje w granicach 0,89–0,94, a dla budynków szkieletowych lub wykonanych z lekkich materiałów (np. gazobetonu, drewna) 0,84–0,88. Wartości te przy niedużym nakładzie pracy (wykorzystując dotychczasowy stan wiedzy) można

byłoby dokładniej uściślić, uzależniając je nie tylko od materiałów konstrukcyjnych przegród, ale również od oporu cieplnego warstwy izolacji termicznej.

Jeżeli chodzi o wartości długości sezonu grzewczego podano je w załączniku G normy PN-B/02025 dla 49 stacji meteorologicznych. Aktualnie dane meteorologiczne (wykorzystywane w określeniu charakterystyki energetycznej budynku) dostępne są na stronie internetowej (rozszerzone o kolejne stacje meteorologiczne). Wystarczyłoby do tych danych wprowadzić współczynnik „zmniejszający” lub „zwiększający” długość sezonu grzewczego w zależności od materiału konstrukcyjnego, z jakiego wykonane są przegrody analizowanego budynku. Wprowadzenie do „metodologii” takich uproszczeń bardzo usprawniłoby obliczenia, łatwiej byłoby oszacować poprawność otrzymanych wyników, jakie otrzymuje się np. z obliczeń numerycznych.

Często na łamach publikacji w wielu branżowych czasopismach producenci materiałów budowlanych, reklamując swoje wyroby, stawiają tezę, że duża pojemność cieplna ich wyrobów obniża znacznie ilość użytkowej energii cieplnej ( $Q_{H,nd}$ ), która jest potrzebna do ogrzewania budynku. Przykładem takiej oceny jest zaczerpnięta z prasy technicznej informacja, cyt. „wysoka wartość współczynnika pojemności cieplnej dla bloczka wapienno-piaskowego wpływa na to, że pojemność cieplna jest kilkukrotnie większa od innych materiałów budowlanych, a budynek wykonany z tego materiału będzie o wiele cieplejszy niż ten sam budynek wykonany z materiałów o mniejszej pojemności cieplnej np. z betonu komórkowego lub bloczków ceramicznych”.

Aby nie wprowadzać w błąd przyszłych użytkowników lub mało doświadczonych inżynierów zajmujących się ochroną ciepłą budynków, zastosowane w „metodologii” uproszczenia bardzo ułatwiłyby rzetelną ocenę budynku pod względem „jakości” cieplnej.

## L i t e r a t u r a

- [1] Kisilewicz T., *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych właściwości przegród na bilans budynków energooszczędnych*, monografia, Wydawnictwo PK, Kraków 2008.
- [2] Garbalińska H., Bochenek M., *Izolacyjność termiczna a akumulacyjność cieplna wybranych materiałów ściennych*, Czasopismo Techniczne 2-A/2011, Wydawnictwo PK, Kraków 2011.
- [3] Zastawna-Rumin A., *Wyznaczanie masy budynku na potrzeby obliczeń obciążenia cieplnego wg PN-EN 12832*, Czasopismo Techniczne 1-B /2011, Wydawnictwo PK, Kraków 2011.
- [4] Rozporządzenie Ministra infrastruktury z 6.11.2008 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącego samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectwa i ich charakterystyki energetycznej.
- [5] Ickiewicz I., *Budynki z paszportem*, Biuletyn POIIB 3/ 2009, 10-12; 24-25.